УДК 621.384.001.63

СПОСОБ ЗАЩИТЫ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА ПРИ КОНТРОЛЕ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЯ ВЫСОКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ

В.К. Кулешов, Л.А. Редько, В.В. Редько

Томский политехнический университет
E-mail: la_redko@list.ru

Предложен способ защиты обслуживающего персонала при работе с высоковольтными испытателями качества изоляции кабельных изделий от поражения электрическим током, основанный на кратковременном периодическом отключении испытателя в случае прикосновения человека к высоковольтным токоведущим цепям. Проведена оценка влияния реализации данного способа на результативность контроля.

При производстве кабельных изделий на различных этапах необходимо контролировать качество электрической изоляции. Основным способом контроля являются испытания "на проход" высоким напряжением в соответствии с ГОСТ 2990-78. Испытания происходят следующим образом: при движении кабеля по экструзионной линии или при перебухтовке жила кабеля заземляется, а к поверхности изоляции прикладывается высокое напряжение посредством специальных электродов. Испытательное напряжение, как правило, находится в пределах от 1 до 50 кВ [1]. В связи с наличием высокого напряжения на выходе испытателя возникает необходимость обеспечения безопасности обслуживающего персонала.

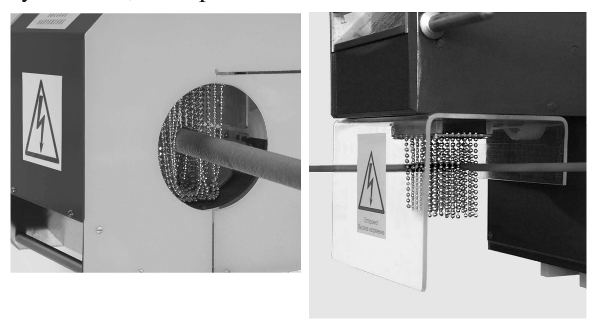


Рис. 1. *Примеры исполнения электродных узлов высоковольтных испытателей кабеля на "проход". Слева приведен электродный узел прибора "ЗАСИ", справа "Корона-1" ("Эрмис+", г. Томск)*

Обеспечить защиту конструктивно по технологическим причинам не всегда возможно, в результате чего вероятен доступ к открытым токоведущим цепям испытателя (рис. 1). Для защиты обслуживающего персонала, работающего с высоковольтными испытателями изоляции кабеля, от поражения электрическим током предлагается следующий способ. Высоковольтный испытатель обязательно содержит устройство, фиксирующее пробой изоляции испытуемого кабеля. Это устройство принято называть схемой регистрации пробоя. При попадании человека под действие высокого выходного напряжения срабатывает схема регистрации пробоя изоляции и вырабатывает сигналы для внешней автоматики. Предлагаемый способ обеспечения безопасности заключается в том, что данный сигнал используют для временного прекращения генерации высокого напряжения. В этом случае средний уровень тока, протекающего через тело человека, может превышать уровень отпускающего тока [2]. Если установить паузу на уровне 3...5 с, то этого времени может быть достаточно для того, чтобы человек смог освободиться от токоведущих цепей. Для реализации данного способа защиты необходимо, чтобы схема регистрации пробоя срабатывала при попадании человека под напряжение.

На нескольких типах высоковольтных испытателей было измерено внутреннее сопротивление. Из технических описаний высоковольтных испытателей разных производителей, в том числе и зарубежного производства, активное сопротивление участка изоляции кабеля, находящегося в электродном узле испытателя, составляет, как правило, десятки МОм, а емкостное – ед. МОм на частоте напряжения, при котором происходит контроль качества изоляции кабеля [3–6]. Внутренне сопротивление источника высокого напряжения на 1–2 порядка меньше емкостного и активного сопротивлений нагрузки, что достаточно для нормальной работы генератора высокого напряжения испытателя. Дальнейшее уменьшение внутреннего сопротивлений источника высокого напряжения приведет к излишнему увеличению его мощности, а значит и стоимости. Сопротивление тела человека при напряжении свыше 1 кВ составляет сотни Ом [2]. Следовательно, сопротивление тела человека, попавшего под испытательное напряжение, отличается от внутреннего сопротивления высоковольтного испытателя примерно на 3–4 порядка, что близко к режиму короткого замыкания. В этом случае схема регистрации пробоя, алгоритм срабатывания которой основан на резком снижении сопротивления изоляции, выдаст сигнал о пробое. В качестве практических доказательств указанных выше предположений были проведены эксперименты (рис. 2, 3) на действующих высоковольтных испытателях, выпускаемых фирмой "Эрмис+" г. Томск. В ходе эксперимента использовался высоковольтный испытатель "КОРОНА – ЗАСИ 30/30" с синусоидальным выходным напряжением. В качестве эквивалента изоляции кабеля использовались семь параллельно включенных резисторов КЭВ-5 сопротивлением 68 МОм (эквивалентное –

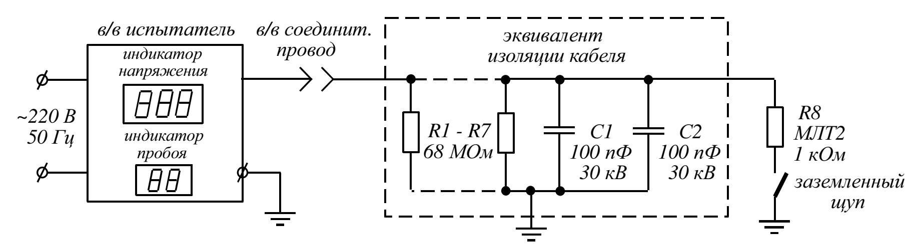


Рис. 2. *Схема эксперимента по фиксированию попадания человека под высокое напряжение*

10 МОм) и два параллельно включенных конденсатора КВИ-2 емкостью 100 пФ (эквивалентная – 200 пФ). Прикосновение человека к токоведущим частям имитировалось прикосновением заземленного щупа с металлическим наконечником через резистор МЛТ-2 сопротивлением 1 кОм.

В ходе эксперимента было осуществлено 100 опытов по прикосновению к высоковольтным токоведущим цепям с помощью специального щупа, с временным интервалом 5 с при выходных напряжениях 3, 10 и 30 кВ. Индикатор пробоя высоковольтного испытателя показал 100 пробоев. Эксперимент доказал, что в существующих высоковольтных испытателях прикосновение человека к высоковольтным токоведущим цепям фиксируется внутренней схемой регистрации пробоев. В тех же устройствах, где данное свойство отсутствует, или проявляется не во всех случаях, необходимо провести меры по доработке устройства (при использовании описываемого способа защиты). Указанные выше теоретические предпосылки и результаты эксперимента показали, что требования о срабатывании схемы пробоя при попадании человека под высокое испытательное напряжение не противоречит алгоритму работы испытателя.

Ток короткого замыкания высоковольтных испытателей составляет, как правило, десятки мА [7]. По существующим нормам [2] для переменного напряжения частотой 400 Гц предельно допустимый уровень тока при длительности прикосновения не более 1 с составляет 100 мА, при длительности свыше 1 с – 8 мА. Отсюда можно сделать вывод, что в большинстве случаев, прикосновение человека к токоведущим частям высоковольтных испытателей допустимо ограничивать только по длительности прикосновения. Продолжительность приложения напряжения не должна превышать 1 с. Это, в свою очередь, накладывает требования к быстродействию схемы регистрации пробоев. Быстродействие должно быть менее 0,2 мс [1]. Поэтому для большинства существующих высоковольтных испытателей требование по быстродействию отключения от высокого напряжения выполняется автоматически без каких-либо дополнительных доработок.

Длительность паузы между подачей высокого напряжения можно определить из следующих соображений. В [2] напряжения и токи прикосновения приведены при продолжительности воздействия не более 10 мин в сутки и установлены исходя из реакции ощущения. Поэтому пауза перед последующей подачей высокого напряжения не должна быть менее 2..3 с. Этого времени должно быть достаточно для отпускания токоведущих цепей. При этом среднее значение тока с учетом пауз будет равно

$$I_{ср} = I_{\max} \frac{t_{возд}}{t_{возд} + t_{паузы}},$$

где: $I_{\max}$ – максимальное значение тока во время воздействия высокого напряжения; $t_{возд}$ – время воздействия высокого напряжения; $t_{паузы}$ – длительность паузы между подачей высокого напряжения.

Однако, наличие паузы между подачей высокого напряжения негативно влияет на качество контроля изоляции. Схема пробоя не различает пробой изоляции и попадание человека под высокое напряжение. В обоих случаях напряжение снимается, и изоляция кабеля временно не контролируется. Можно подсчитать длину неконтролируемого кабеля. Скорость движения кабеля на экструзионных линиях находится в пределах 200..1500 м/мин. При средней скорости движения кабеля 1000 м/мин длина неконтролируемого кабеля при длительности паузы 2 с составит 33 м. По сравнению с описанными ранее способами защиты обслуживающего персонала высоковольтных испытателей от поражения электрическим током [7] данный способ отличается простотой реализации, однако его недостатком является относительно большие длины неконтролируемого кабеля.

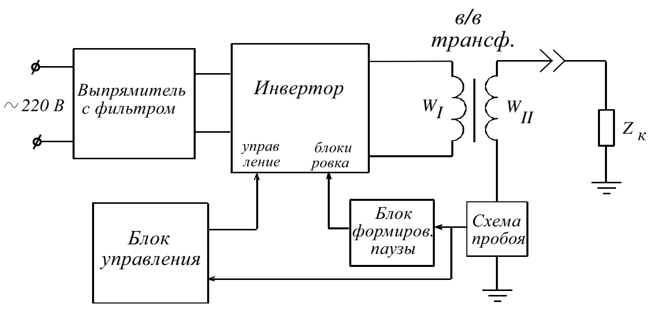


Рис. 3. *Структурная схема устройства защиты от поражения электрическим током с периодическим отключением*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД16 14.640-88. Кабели, провода и шнуры. Испытание напряжением на проход. Типовой технологический процесс.
2. ГОСТ 12.1.038-82 Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
3. www.sicora.com Сайт фирмы “SICORA”.
4. www.zumbach.com Сайт фирмы “ZUMBACH”.
5. www.betalasermake.com Сайт фирмы “BETA”.
6. www.ermis.tomsk.ru Сайт фирмы "Эрмис+".
7. Редько Л.А., Редько В.В. К вопросу об обеспечении электробезопасности обслуживающего персонала при работе с высоковольтными испытателями изоляции кабеля "на проход" // Современные техника и технологии: Труды IX Междунар. научно-практ. конф. молодых ученых. – Томск, 2003. – Т. 2. – С. 137–139.

УДК 620.1:620.179